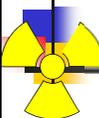


INFN Sezione di Pavia
via Bassi 6, 27100 Pavia
elio.giroletti@pv.infn.it



Elio GIROLETTI
esperto di radioprotezione



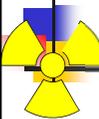
**protezione e sicurezza
dalle radiazioni ionizzanti**



Pavia, 27 novembre 2020



rischi fisici



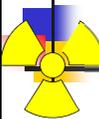
**protezione e sicurezza
dalle radiazioni ionizzanti**



Pavia, 27 novembre 2020

Elio GIROLETTI
Esperto di Radioprotezione INFN

Giuseppe TAINO
Medico Autorizzato INFN



**protezione e sicurezza
dalle radiazioni ionizzanti**



Pavia, 27 novembre 2020

- Introduzione
- Grandezze, limiti di dose e dosimetria
- Possibili effetti e sorv. medica (dott. Taino)
- Principi radioprotezione e sorveglianza fisica
- Sorgenti nei laboratori e tutele
- Gli attori del sistema sicurezza in INFN
- Conclusioni e verifica apprendimento

INFN **vita dalle radiazioni... è possibile?**
vita nello spazio ...grazie ai raggi cosmici?

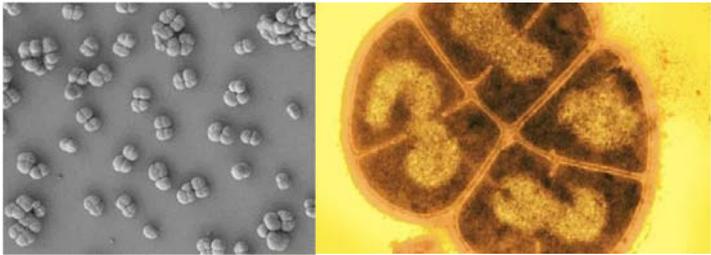


come l'uranio nel sottosuolo, i raggi cosmici potrebbero...

Desulforudis audaxviator, the bacterium thrives 2.8 km underground. It draws its energy from the radioactivity of U in the rock. The radiation breaks apart sulfur and water molecules in the stone, producing molecular fragments such as sulfate and hydrogen peroxide that are excited with internal energy. It then takes in these molecules, siphons off their energy, and spits them back out. Most of the energy produced from this process powers the bacterium's reproduction and internal processes, but a portion of it also goes to repairing damage from the radiation

D. Atri, J, Royal Soc., Interface, october 2011

INFN **EPPURE... c'è chi resiste!**



Deinococcus radiodurans, batterio che sopravvive a 10.000 Gy (60 Gy uccidono un batterio). Il microbo ha una capacità eccezionale di ricostruire il proprio DNA.

<https://www.microbiologiaitalia.it/batteriologia/deinococcus-radiodurans-batterio-anti-radiazioni-piu-forte-del-mondo/>

INFN **radiazioni IONIZZANTI**

particelle CARICHE LEGGERE

- ✓ più importanti: beta (elettroni, β^+ , positroni, β^-)

particelle CARICHE PESANTI

- ✓ alfa: α
- ✓ mesoni (μ , π), protoni, deutoni, ioni, ecc.

particelle NEUTRE

- ✓ neutrone, massa pari al protone

radiazioni ELETTRROMAGNETICHE

- ✓ fotoni: X - γ
- ✓ velocità della luce

energia, E

- elettromagnetiche: $E=h\nu$
- corpuscolari: $E=(\gamma-1)mc^2$



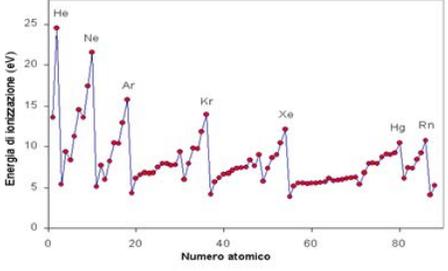
INFN **radiazioni non ionizzanti, RnI**



radiazioni emesse da:

- telefoni cellulari
- forno a microonde
- antenne
- linee alta tensione
- risonanza magnetica
- ecografia (ultrasuoni)

non hanno energia sufficiente per ionizzare
 per cui sono: radiazioni *non ionizzanti*



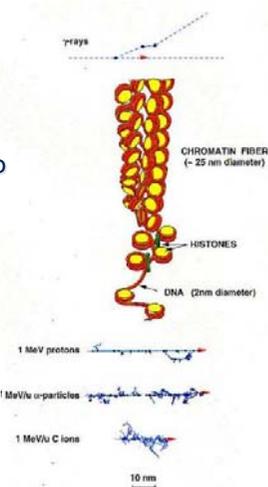
INFN INTERAZIONE

PARTICELLE CARICHE

- interazione continua - campo elettrico
- *pesanti*: percorso abbastanza rettilineo
- *leggere* (es. *elettroni*): percorso tortuoso

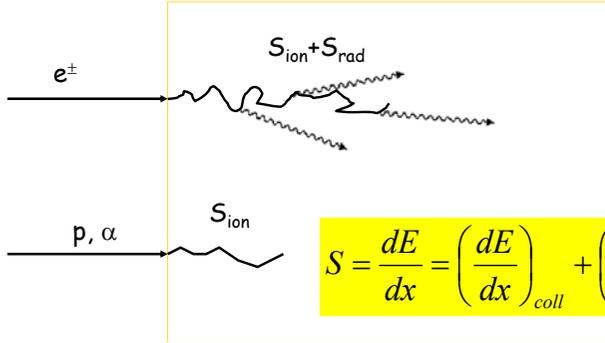
RADIAZIONI NEUTRE

- cessione energia solo nell'interazione
- percorso rettilineo fino alla interazione
- neutroni: diffusione /assorbimento /scattering anelastico, ecc.
- fotoni: fotoelettrico, compton, produzione coppie, diffusione, ecc.



INFN STOPPING POWER, S

PARTICELLE CARICHE



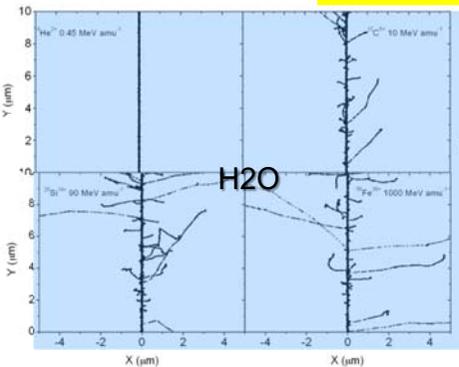
$$S = \frac{dE}{dx} = \left(\frac{dE}{dx} \right)_{coll} + \left(\frac{dE}{dx} \right)_{rad}$$

POTERE FRENANTE, S, Stopping power:
energia ceduta /unità percorso [keV/μm]

Convisiero, Genova, 2003

INFN HEAVY ION INTERACTION

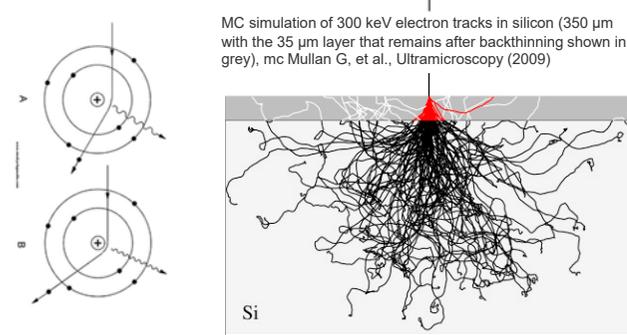
ICRP 123, 2014

$$S_{coll} = \left(\frac{dE}{dx} \right)_{coll} = \frac{4\pi e^4 z^2 Z N B}{m v^2} \propto \frac{z^2 Z}{v^2} \text{ picco di Bragg}$$


dove: S_{coll} =potere frenante per collisione [keV/μm]; z e v =numero atomico e velocità della particella; Z numero atomico materiale

Simulated tracks in H2O: 4He (0.45 MeV/u), 12C (10 MeV/u), 28Si (90 MeV/u), and 56Fe (1 GeV/u). Ions are generated at the origin in liquid water at 25 °C under identical LET (~150 keV/μm). Each dot represents a radiolytic species (Plante et al., 2008).

INFN LIGHT ION INTERACTION



MC simulation of 300 keV electron tracks in silicon (350 μm with the 35 μm layer that remains after backthinning shown in grey), mc Mullan G, et al., Ultramicroscopy (2009)

$$-\left(\frac{dE}{dx} \right)_{rad} = \frac{4Z^2}{137} \frac{N_A}{A} r_0^2 E \log \left(\frac{183}{Z^{1/3}} \right) \propto Z^2 v^2 \text{ irraggiam.}$$

dove: S_{coll} =potere frenante per irraggiamento per elettroni [keV/μm]; v = velocità della particella; Z = numero atomico materiale

<http://www.umms.sav.sk/6445-en/simulation-of-interaction-trajectories-between-incident-electron-beam-and-specimen/>, accessed 2017

INFN **DECADIMENTO RADIOATTIVO**

$n(t)$
 n_0
 $n_0/2$
 $T_{1/2}$
tempo, t

$-\Delta n = \lambda \cdot n \cdot \Delta t$

$n(t) = n(t_0)e^{-\lambda(t-t_0)} \approx n_0e^{-\lambda t}$

Becquerel e coniugi Curie

λ = costante di decadimento, caratteristica di ogni radionuclide = probabilità che il nuclide decada al sec; $n(t)$ = atomi radioattivi presenti al tempo t ; $n(t_0)$ = atomi radioattivi iniziali (t_0)

INFN **ATTIVITÀ**

$A(t) = \lambda n(t) = A_0 e^{-\lambda t}$

$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \quad T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$

- attività, A:** intensità di decadimento, numero atomi che decadono al secondo; unità SI: becquerel [Bq], 1 Bq = 1 trasformazione nucleare al sec. : 1 Bq = 1s⁻¹; 1 curie (Ci) = 3,7 · 10¹⁰ Bq
- tempo dimezzamento, T_{1/2}:** tempo necessario affinché attività si dimezzi [s]

ICRP 103,
EU directive 2013/59
dLgs 101/2020

INFN **RADIATIONS AT CERN**

particle accelerator operations involve beam losses
beam off
Induced radioactivity in equipment components, air, gas, water...

Prompt ionizing radiation (hadrons, leptons, photons)

beam on
high energetic protons
neutrons
protons
pions
radioactive nuclei
photons

radioactive nuclei
photons
photons
photons
photons

- NON** estrarre materiali da zone classificate **SENZA** autorizzazione RPE

THEIS C, RPE course, CERN, 2012

INFN **ATTIVAZIONE**

attivazione materiali:

$\frac{dN}{dt} = \Phi \sigma N_{camp} - \lambda N$

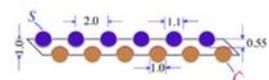
$A(t_{irr} + t_{raff}) = \sigma N_{camp} \Phi (1 - e^{-\lambda t_{irr}}) e^{-\lambda t_{raff}}$

dove: A= attività al tempo $t_{irr} + t_{raff}$ (tempo irraggiamento, t_{irr} e tempo raffreddamento, t_{raff}), del radionuclide con costante di decadimento λ , prodotto da un materiale avente sezione d'urto microscopica σ , ed una densità atomica N_{camp} , e che è stato esposto per un tempo t_{irr} , al flusso di neutroni Φ (o altre radiazioni energetiche).

INFN ACTIVATION AT CERN

ACTIVATED TOOL

- what is?
- what can we do?

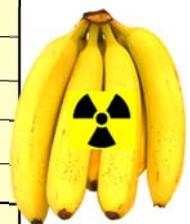



Fiber type calorimeter, CERN report: Co-60 (2,800 Bq) + Mn-54 (1,700 Bq); no other gamma emitters (activities <MDA). Dose rate does not exceed the background (about 0.2 uSv/h).

Pavia July 2018

INFN RADIOATTIVITÀ IN CORPO

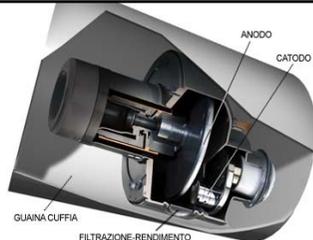
Radionuclidi naturali	Attività [Bq]
K-40 ($T_{1/2} = 1,27E9$ a)	4.500
C-14 ($T_{1/2} = 5400$ a)	3.800
Rb-87 ($T_{1/2} = 48,8E9$ a)	650
Pb-210, Bi-210, Po-210	60
figli del Rn-220	30
H-3 ($T_{1/2} = 13$ a)	25
Be-7 (53,2 g)	25
Altri	7
TOTALE	~9-10 kBq



K-40

Adattato Romero, marzo 2004

INFN TUBO A RAGGI X

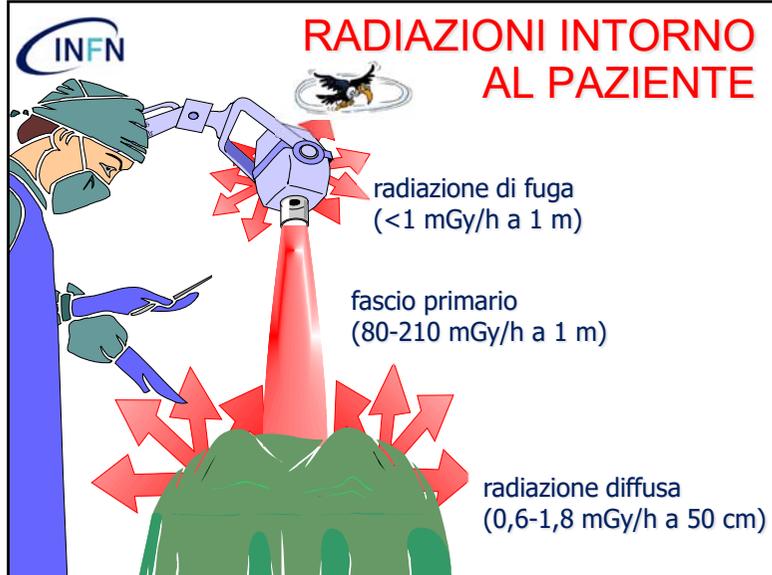


QUATTRO PARAMETRI

- *corrente*, mA
 - incrementa la dose lineare
- *alta tensione*, kV
 - energia e “durezza” (penetrazione) fascio
 - incrementa la dose
- *tempo*, ms
 - dose lineare con tempo
- *distanza*, m
 - dose diminuisce con (quadrato) distanza

RX presenti solo con corrente di elettroni

INFN RADIAZIONI INTORNO AL PAZIENTE

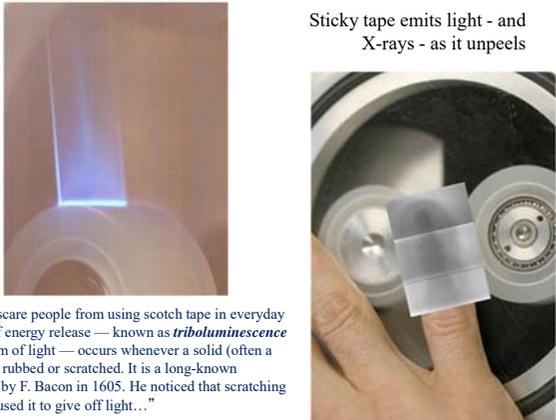


radiazione di fuga (<1 mGy/h a 1 m)

fascio primario (80-210 mGy/h a 1 m)

radiazione diffusa (0,6-1,8 mGy/h a 50 cm)

INFN X-rays usingscotch tape?



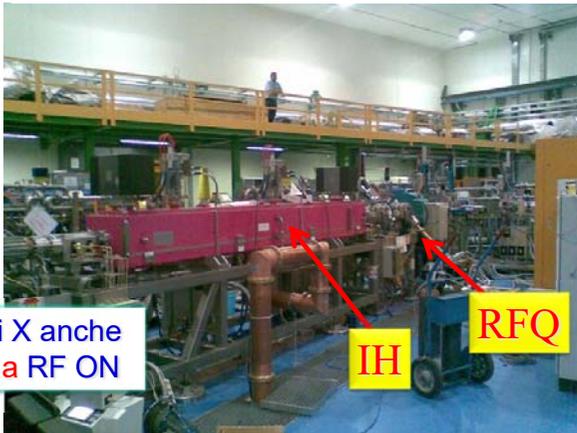
Sticky tape emits light - and X-rays - as it unpeels

"We don't want to scare people from using scotch tape in everyday life.... This kind of energy release — known as *triboluminescence* and seen in the form of light — occurs whenever a solid (often a crystal) is crushed, rubbed or scratched. It is a long-known phenomenon, seen by F. Bacon in 1605. He noticed that scratching a lump of sugar caused it to give off light..."

IR with HV inside vacuum chambers

Camara, C. G., et al., Nature 455, 1089–1092 (2008).

INFN LINAC: acceleratore ma... produce anche raggi X



raggi X anche solo a RF ON

IH

RFQ

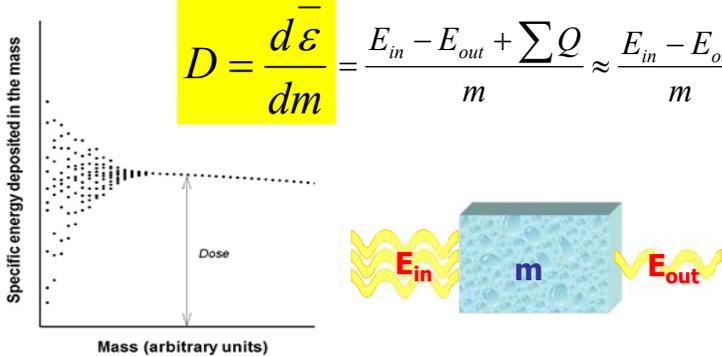
INFN SORGENTI DI RADIAZIONI

elenco definito da art.30 e All. I del d.Lgs 101/2020

- materie radioattive: concentrazione + attività totale detenuta
- acceleratori di particelle nucleari: tensione di accelerazione delle particelle se >5 keV
- radioattività naturale, Rn + NORM (All.II)
- prevede esclusioni

MODULO INFN

INFN ABSORBED DOSE



$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} = \frac{E_{in} - E_{out} + \sum Q}{m} \approx \frac{E_{in} - E_{out}}{m}$$

where: D = absorbed dose; ϵ is the mean energy imparted by ionising radiation to the matter in a volume element (always specify the material) and dm is the mass of the matter in this volume element.. NB: it strongly depends on the material, SI unit, gray (Gy) = 1J/kg

ICRP 103, EU directive 2013/59, dLgs 101/2020

INFN ORGAN ABSORBED DOSE

effetti biologici sono proporzionali alla dose (*media*) assorbita dall'organo T

$$D_T = \frac{1}{m_T} \int D dm \approx \frac{E_{in} - E_{out}}{m_T}$$

unità SI: gray, Gy
1Gy = 1 J/kg = 100 rad ≈ 6 keV/μm³

ovaie: 10 g
corpo intero: 70 kg

ICRP 74 & ICRU

INFN DANGEROUS RADIATIONS

w_R , radiation weighting factors

H_T , Equivalent dose

$$H_T = \sum_R D_{T,R} w_R$$

	ICRP60	ICRP103
Photon, e ⁻ , μ	1	1
Proton	5	2
α, heavy nuclei	20	20
Neutron	Step	Continuous

SI unit: sievert, Sv
1Sv = 1J/kg (fotons & electrons)
fotons & electrons are less dangerous

ICRP 103,
EU directive 2013/59
dLgs 101/2020

INFN TISSUE SENSITIVITY

w_T , tissue weighting factors

Oesophagus - 0.05 (0.04)
Thyroid - 0.05 (0.04)
Lungs - 0.12
Skin - 0.01
Breast - 0.05 (0.12)
Stomach - 0.12
Liver - 0.05 (0.04)
Colon - 0.12
Gonads - 0.20 (0.08)

E, Effective dose

$$E = \sum_T w_T H_T$$

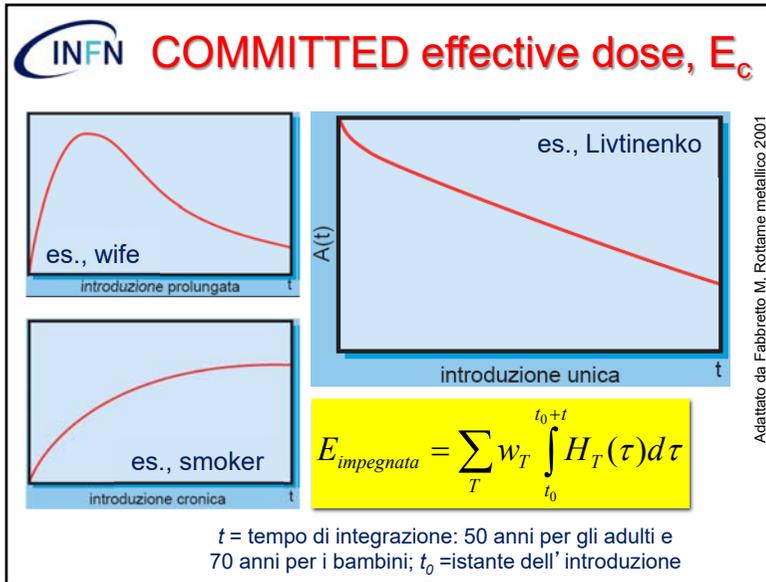
$$\sum_T w_T = 1$$

SI unit: sievert, Sv

ICRP 60 (ICRP 103,
EU directive 2013/59
dLgs 101/2020)

INFN w_T - ICRP 60 and ICRP 103

Organ or tissue	w_T ICRP60	w_T ICRP103
Gonads	0.20	0.08
Red bone marrow	0.12	0.12
Colon	0.12	0.12
Lungs, toracic ways	0.12	0.12
Stomach	0.12	0.12
Bladder	0.05	0.04
Breast	0.05	0.12
Liver	0.05	0.04
Oesophagus	0.05	0.04
Thyroid	0.05	0.04
Skin	0.01	0.01
Bone surface	0.01	0.01
Brain	org.riman.	0.01
Salivar glands	org.riman.	0.01
Remainder tissues	0.05	0.12
TOTAL	1.0	1.0

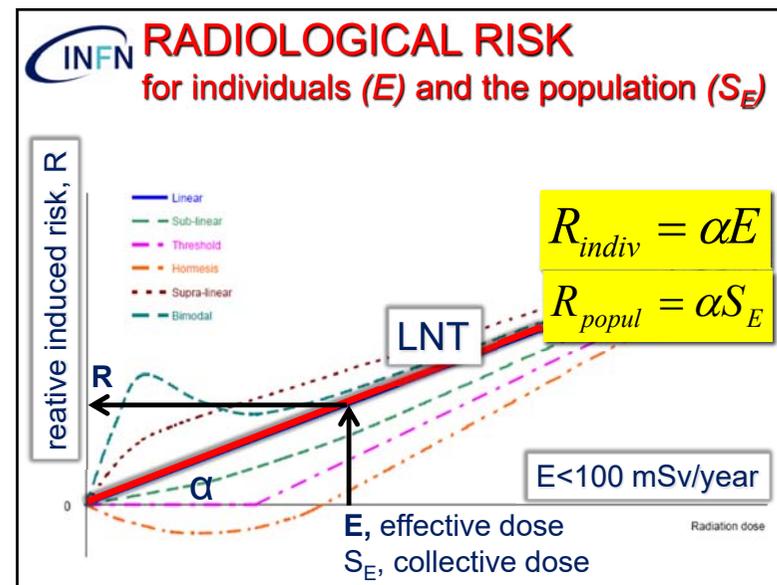
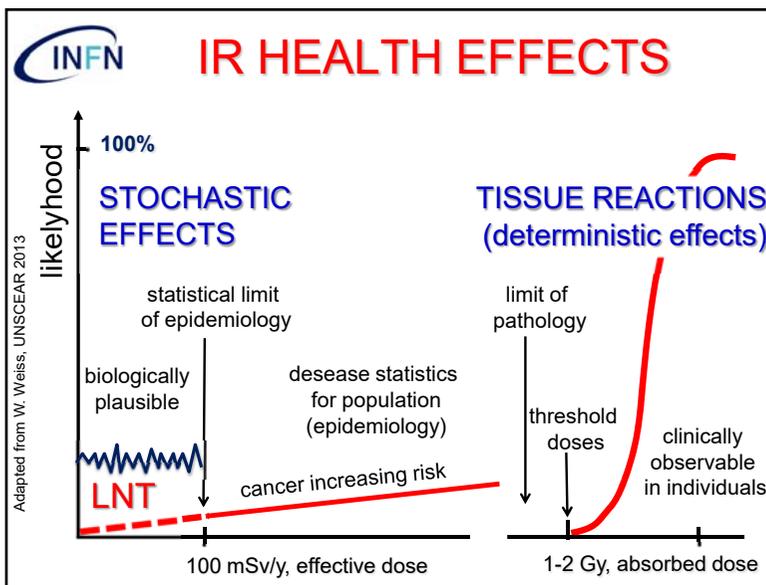


INFN

protezione e sicurezza dalle radiazioni ionizzanti

Pavia, 27 novembre 2020

Introduzione
 Grandezze, limiti di dose e dosimetria
Possibili effetti e sorv. medica (dott. Taino)
 Principi radioprotezione e sorveglianza fisica
 Sorgenti nei laboratori e tutele
 Gli attori del sistema sicurezza in INFN
 Conclusioni e discussione



INFN RADIATION RISK & radiation protection



$R_{indiv} = \alpha E$ $R_{popul} = \alpha S_E$

	tumori	ereditari	totale
popolazione	0,055	0,002	0,057
adulti	0,041	0,001	0,042

Coefficienti di detrimento nominale di rischio, α (1/Sv), per effetti STOCASTICI (alle basse dosi)

(ICRP 103, dir EU 2013/59, d.lgs 101/2020)

INFN I.R. POSSIBLE EFFECTS
resume

$R_{indiv} = \alpha E$
 $R_{popul} = \alpha S_E$

IR estimated risks of health effects are:

- ~100% for early clinical effects at doses >1-2 Gy

Effective doses $E < 100$ mSv/year (stochastic effects)

- ~ 0.05% /mSv for antenatal effects
- ~ 0.005% /mSv for cancer
- ~ 0.0005% /mSv for hereditary effects.

INFN LNT: CONSIDERAZIONI

- solo a basse dosi (<100 mSv/a) e bassi ratei
- elevate incertezze e non definite per α_E , w_R e w_T
- solo per radioprotezione (principio precauzione)
- base prudente per aspetti pratici radioprotezione e confrontare i rischi (es. tra professioni)
- mai per valutare “decessi” da incidenti nucleari o indagini mediche
- non valida per bassissime dosi ricevute da un elevato numero di persone e per lunghi periodi
- contestata da vari ricercatori

INFN PRINCIPI RADIOPROTEZIONE d.Lgs 101/2020 e 81/08 e smi



1. Giustificazione
2. Ottimizzazione
3. Limitazione dosi individuali
 - lavoratori e popolazione
 - non per pazienti, volontari, ecc.

protezione dalle *radiazioni ionizzanti* richiede:

- sorveglianza fisica: *esperto di radioprotezione (RPE)*
- sorveglianza medica: *medico autorizzato*
- partecipano alla riunione annuale sicurezza
- protezione dei pazienti: *specialista in fisica medica*

INFN 1 - Justification

Decisions introducing a practice shall be justified in the sense that such decisions shall be taken with the intent to ensure that the individual or societal benefit resulting from the practice outweighs the health detriment that it may cause.
 Decisions introducing or altering an exposure pathway for existing and emergency exposure situations shall be justified in the sense that they should do more good than harm

EU directive 2013/59
 adapted d.Lgs 101/2020

INFN 2 - Optimization

Radiation protection of individuals subject to public or occupational exposure shall be optimised with the aim of keeping the magnitude of individual doses, the likelihood of exposure and the number of individuals exposed as low as reasonably achievable taking into account the current state of technical knowledge and economic and societal factors.
ALARA, As Low As Reasonably Achievable
ALARAP, As Low As Reasonably Practicable

How much low is reasonably low?

[European Alara Network](http://www.eu-alara.net)
www.eu-alara.net

EU directive 2013/59
 adapted d.Lgs 101/2020

INFN 2 – Optimization dose constraints

VINCOLI DI DOSE

- Vanno definiti preventivamente per ogni impianto frequentato (sia italiano che estero)
- scambio di informazioni tra RPE INFN e RPE dell'impianto

artt.5, 109 e 122 d.Lgs 101/2020

INFN LIMITI DOSE INDIVIDUALE

	Limiti di dose, mSv/anno solare (+)	
	ESPOSTI A (B) (*)	NON ESPOSTI (§)
dose efficace	20 (6)	1
cristallino	20 (15)	15
estremità	500 (150)	--
pelle (med. 1 cmq)	500 (150)	50
Nascituro	1 /gravidanza	
Sorv. fisica individ.	si (dipende)	non richiesta
Visita medica/anno	≤2 (1)	no

art.146 d.Lgs 101/2020; (+) i limiti sono COMPLESSIVI: si riferiscono a tutte le sedi lavorative e non comprendono le dosi mediche individuali o ricevute per assistere i pazienti; (*) sono classificati in categoria B i lavoratori che non sono suscettibili di superare i valori in parentesi (n); (§) lavoratori autonomi o dipendenti da terzi (art.117) e popolazione hanno gli stessi limiti dei NE

INFN TUTELE PARTICOLARI



- minori
 - apprendisti e studenti <18 anni
- gestanti (*occhio a indagini mediche*)
 - non attività in zone classificate (ZC e ZS) *fino a 7 mesi dopo parto*
 - comunque, al feto <1mSv
- donne che allattano al seno
 - evitare zone a rischio contaminazione interna fino al termine allattamento

d.Lgs 151/01 e smi

INFN Sorveglianza fisica art.130
dLgs 101/2020

Per conto del DdL, *esperto di radioprotezione*

a) effettua sorveglianza fisica ed in particolare:

- 1) rilascia benessere preventivo
- 2) classifica aree e lavoratori
- 3) richiede dosimetri individuali e dispositivi di sicurezza
- 4) propone norme radioprotezione e corsi formazione
- 5) prima verifica di nuove installazioni e modifiche
- 6) controlli periodici
- 7) verifica funzionamento degli strumenti di misura
- 8) sorveglianza ambientale delle zone classificate
- 9) valuta dosi e introduzioni di radionuclidi per lavoratori e popolazione
- 10) autorizza scarichi radioattivi e rifiuti

b) assiste il DdL in caso di incidente
 c) comunica a DdL e MA dosi dei lavoratori
 d) aggiorna documentazione e partecipa a riunione ex 81/08

INFN MISURE TUTELA d.Lgs 101/2020

- ✓ ridurre numero esposti
- ✓ classificare personale
- ✓ formazione ed informazione (1/3 anni)
- ✓ sorveglianza fisica e medica
- ✓ conoscere misure di tutela degli impianti ospitanti
- ✓ segnalare sorgenti e aree a rischio
- ✓ usare sorgenti lo stretto necessario
- ✓ minima attività/potenza possibile
- ✓ minima area del campo radiante (angolo solido)
- ✓ DPI: dispositivi individuali schermati e non
- ✓ procedure operative specifiche
- ✓ uso delle apparecchiature
- ✓ controlli sistemi sicurezza



INFN rivelatori di radiazioni

- a gas
- luminescenti: es. termica (TLD), scintillazione
- semiconduttori o diodi
- fotografici (film e pell. gafcromiche)
- pellicole (tracce, CR39)
- e altri: spettrometria, elettretti, EPR, chimici e....
smartphone e molti altri...



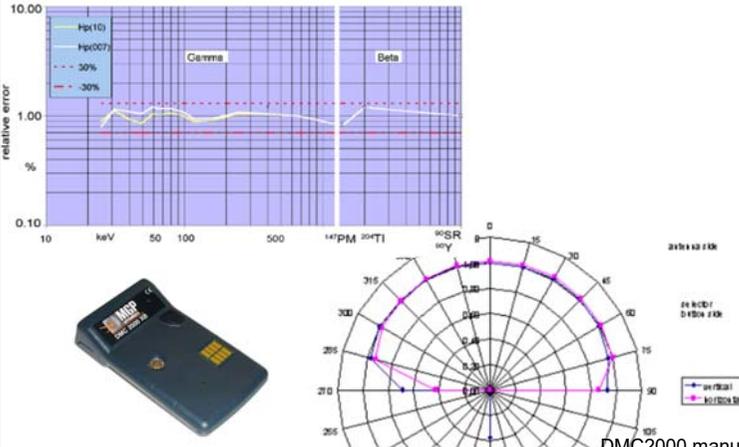
INFN DOSIMETRO INDIVIDUALE

non protegge ma misura...



- **specifico per l'impianto (!):** prescritto da esperto radioprotezione locale
- personale e non si scambia
- solo sul lavoro
- non abbandonare in aree classificate
- lontano da sorgenti di calore
- non manomettere
- se smarrito avvisare e attendere sostituzione

INFN ELECTRONIC PERSONAL DOSIMETER, EPD



DMC2000 manual

INFN DOSIMETRY AT CERN

Instrumentation:

- Individual dosimeter: DIS-1 (Miron, min 1 μ Sv);
- Operational dosimeter: DMC 2000 /3000 (Miron, min 1 μ Sv);
- Extremity /Neutron dosimeter: from PSI (min 0.5 mSv);
- Radiation workers have online access to their dose at any moment



CERN Individual Dosimeter: DIS-1 from Miron
 CERN Operational Dosimeter: DMC 3000 from Miron

THEIS C, RPE course, CERN, 2012

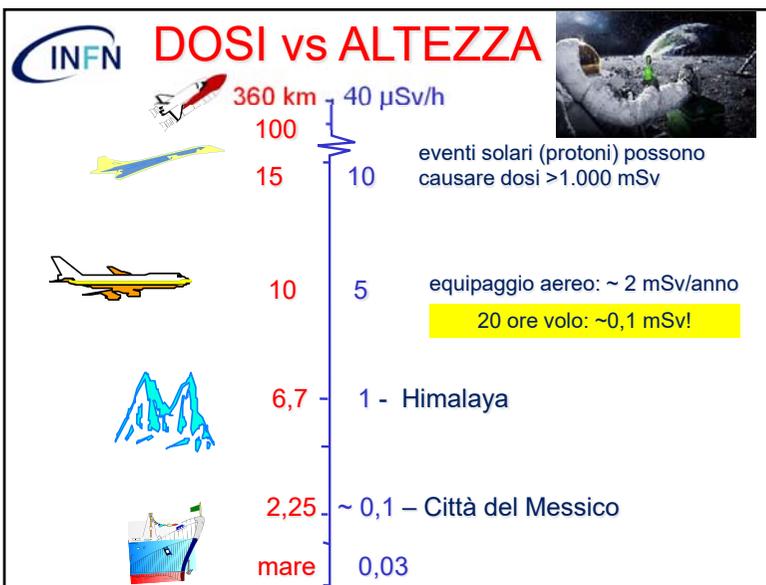
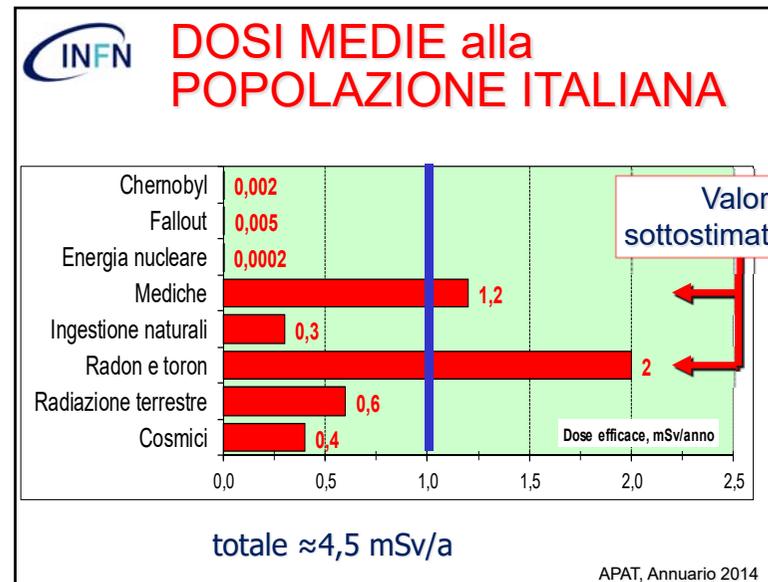
INFN radiazioni ionizzanti e ricerca

- radiochimica
- radiobiologia e radioimmunologia
- impianti nucleari (LENA, SM1, ecc.)
- acceleratori, sorgenti taratura
- grandi impianti (CERN, PSI, GSI, RAL, CNAO, ...)
- diffrattometri, raggi X
- reparti radiodiagnostici
- laboratori rivelatori
- laboratori prove materiali
- controlli non distruttivi
- microscopi elettronici
- gascromatografi
- radon
- ecc, ecc, ecc...

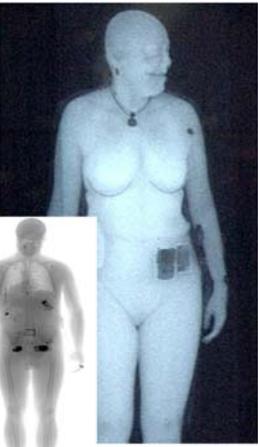


INFN radiazioni ionizzanti e sanità

- **Materiali radioattivi:**
 - radiobiologia e radioimmunologia
 - medicina nucleare
 - altri reparti: pazienti sottoposti a indagini di medicina nucleare
 - radon
- **Raggi X, gamma, elettroni e adroni:**
 - radiodiagnostica
 - interventistica
 - radioterapia (est.+int)
 - altri reparti: uso occasionale

INFN AIRPORT SOFT X-RAY SCANNER



dose ≈0.02 µSv

just the external dose received by an air traveller flying at 10,000 m in 15 s!

ANSI N43.17 & NCRP Dose Limits

- 0.1 µSv effective dose/scan
- 0.25 mSv effective dose/year (backscatter or absorption technol.)

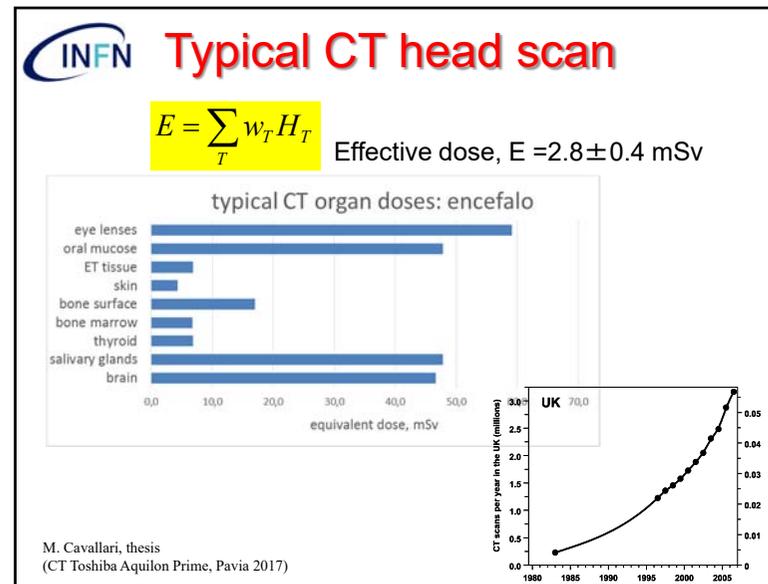
HPA, UK, 2010

INFN
RAD. DOSIS in EU

radiological procedure	patient E, mSv	procedure dose/chest dose
chest/torax	0.1	---
cervical spine	0.2	2
thoracic spine	0.6	6
lumbar spine (incl.LSJ)	1.2	12
mammography	0.3	3
abdomen	0.9	9
Pelvis and hip	0.7	7
Ba meal	6.2	62
Ba enema	8.5	85
Ba follow-through	7.2	72
intravenous urography	2.9	29
cardiac angiography	7.7	77
CT head	1.9	19
CT neck	2.5	25
CT chest	6.6	66
CT spine	7.7	77
CT abdomen	11.3	113
CT pelvis	7.3	73
CT trunk	14.8	148
Percutan.Translum.Coron.Angiopl.	15.2	152
Cardiac angiography	7.7	77

Average typical effective doses (E) for TOP EU 20 groups (mean of all countries)

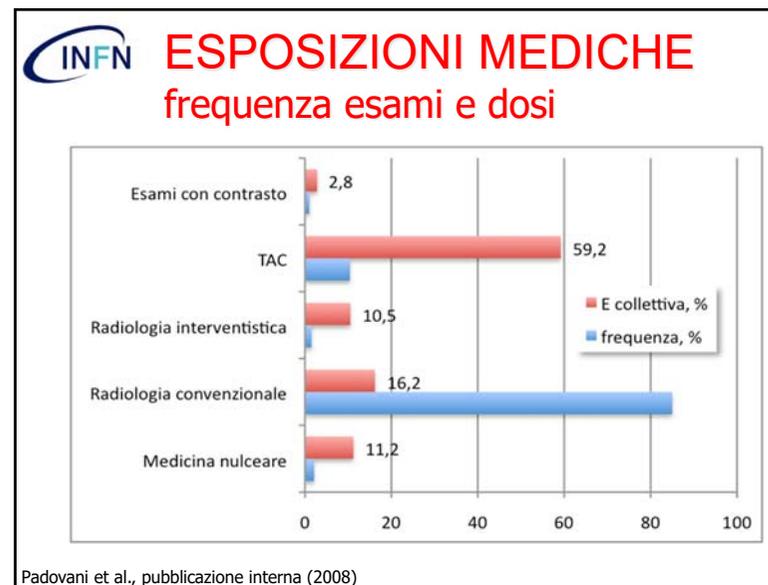
(EU RP 180, medical exposures, 2015)

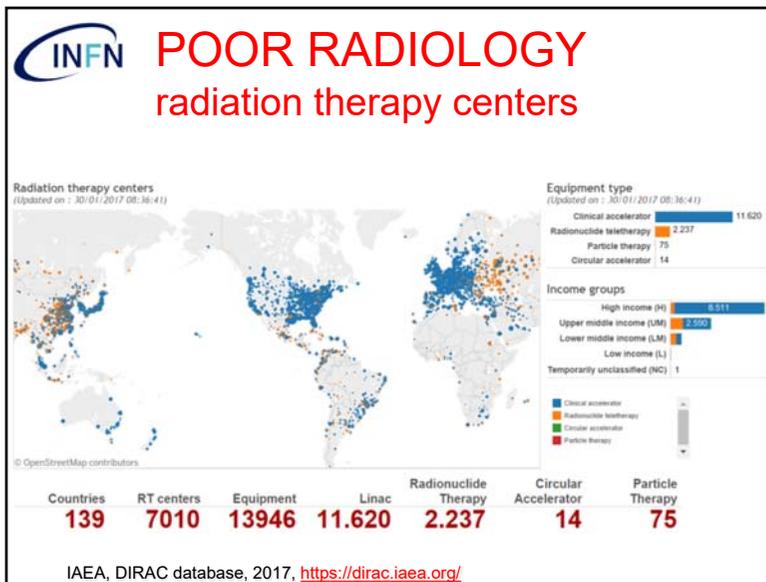


INFN
NM DOSIS in EU

nuclear medicine procedure	patient E, mSv	procedure dose/chest dose	Average typical effective dose per diagnostic NM procedure in the European countries of this study, compared with similar data from UNSCEAR Health Care Level 1 (HCL1; UNSCEAR 2008) countries
bone scan (Tc-99m)	3.8	38	
Myocardial perfusion (Tl-201 chloride)	13.8	138	
Myocardial perfusion, rest (Tc-99m)	4.1	41	
Myocardial perfusion, rest (Tc-99m, MIBI)	5.5	55	
Myocardial perfusion, exercise (Tc-99m, tetrof.)	3.8	38	
Myocardial perfusion, exercise (Tc-99m, MIBI)	4.8	48	
Heart Total (Tc-99m)	7.97	80	
PET Myocardial perfusion (F-18 FDG)	5.3	53	
PET Myocardial perfusion (O-15 H2O)	0.8	8	
PET Tumor imaging (F-18 FDG)	6.7	67	
PET	6.42	64	
CT scan + PET	6.5	65	
Lung perfusion (Tc-99m)	1.8	18	
Thyroid scan (Tc-99m)	2	20	
Thyroid scan (I-131)	7.8	78	
Thyroid scan (I-123)	8.2	82	
Thyroid scan (I-131/I-123)	30.5	305	
Renal scan (Tc-99m DMSA)	1.2	12	
Renal scan (Tc-99m MAG3)	0.8	8	
Renal scan (Tc-99m DTPA)	0.9	9	
Renal total	1.89	19	
CBF (Tc-99m HMPAO, Ceretec)	6.5	65	
CBF (Tc-99m ECD)	4.9	49	
Brain	6.09	61	

(EU RP 180, medical exposures, 2015)

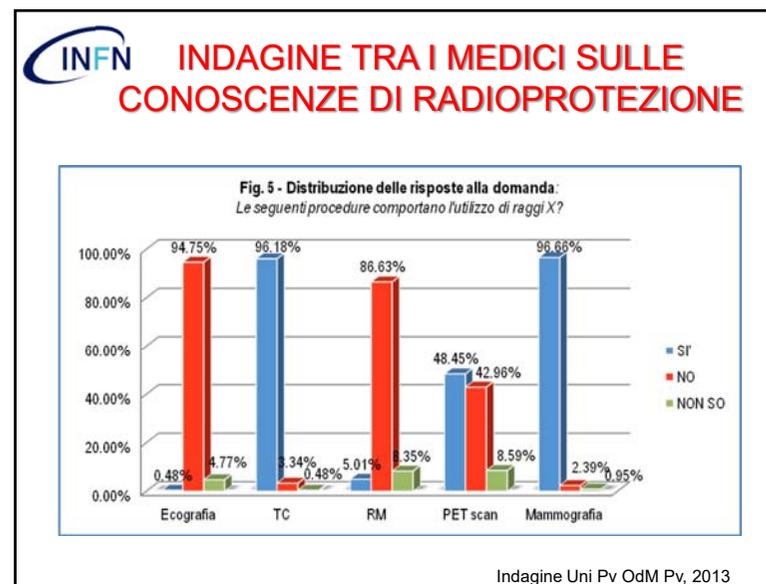




INFN In molte strutture sanitarie

- dose è superiore a quella necessaria
- rapporti pari a un fattore 10-100, tra dose massima e minima, a parità di procedura
- dose eliminabile: equivalente o maggiore a quella di tutte le altre fonti artificiali (centrali nucleari comprese).

UNSCEAR 2000



INFN INDAGINE TRA I MEDICI SULLE CONOSCENZE DI RADIOPROTEZIONE

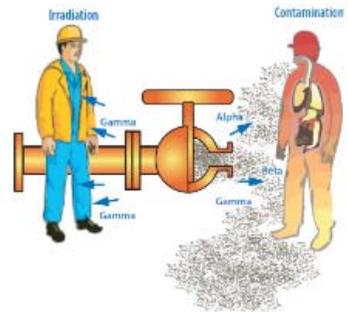
migliore rispetto all'estero ma con lacune, tra cui:

- <5% ignorano che RM ed UT non usano RI
- maggioranza dei medici (non radiologi) pare non ha dimestichezza con effetti stocastici
- medici faticano a discriminare entità dose indebita
- difficoltà di discriminare tra procedure radiologiche a maggior dose e possibili alternative
- >50% dichiara di non avere ricevuto una formazione in radioprotezione durante università

Indagine Uni Pv OdM Pv, 2013

INFN MODALITA' DI ESPOSIZIONE A RADIAZIONI

- Irradiazione esterna
- Contaminazione (radioattività)
 - esterna: pelle, ecc.
 - interna (intake): per
 - ingestione
 - inalazione
 - ferite
 - perfusione cutanea



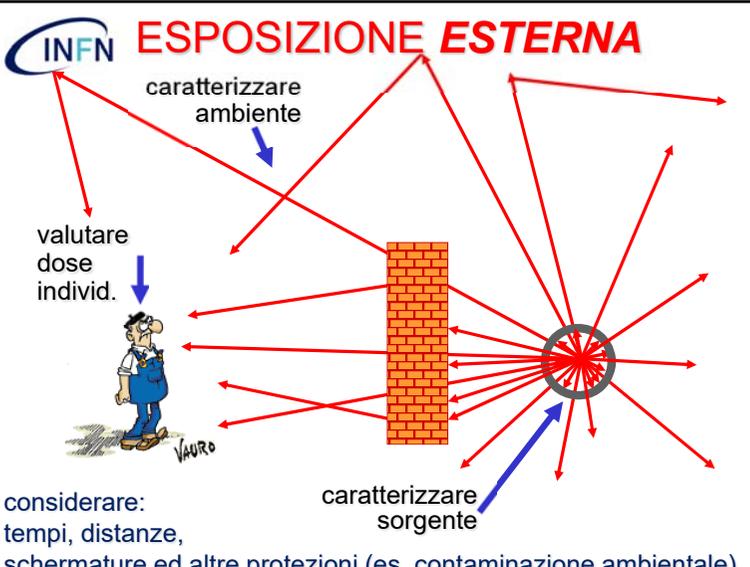
INFN ESPOSIZIONE ESTERNA

caratterizzare ambiente

valutare dose individ.

considerare: tempi, distanze, schermature ed altre protezioni (es. contaminazione ambientale)

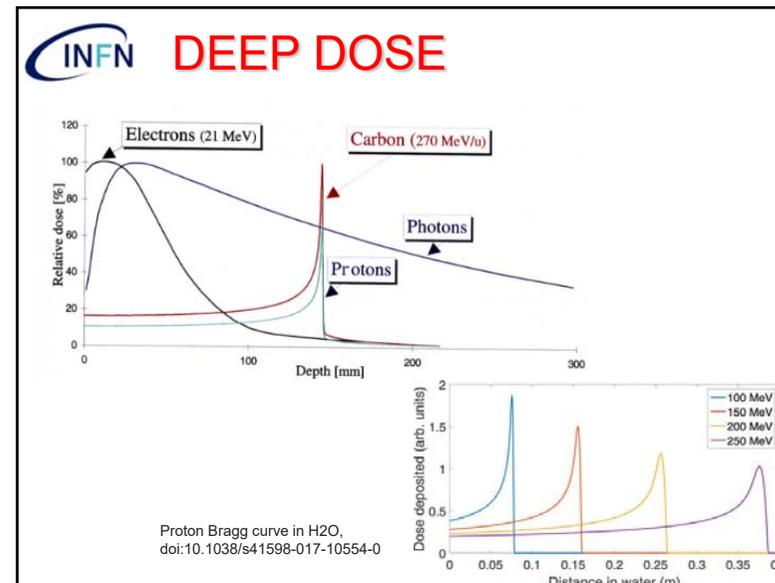
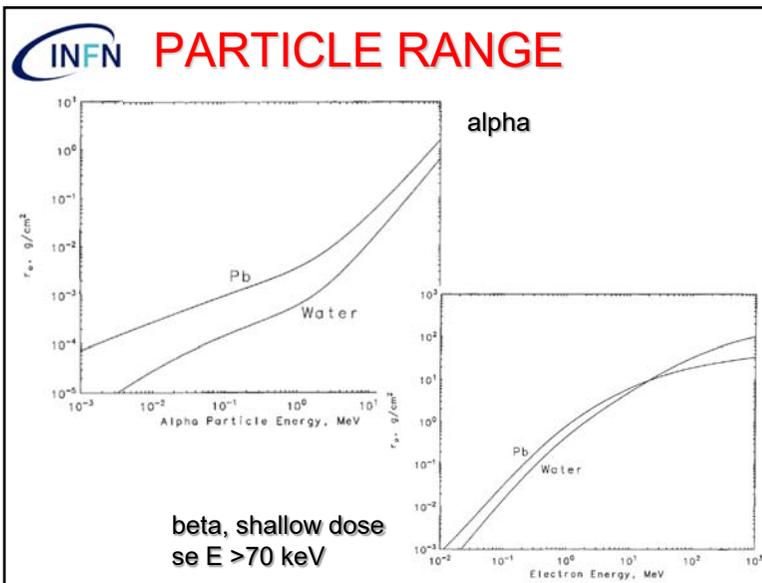
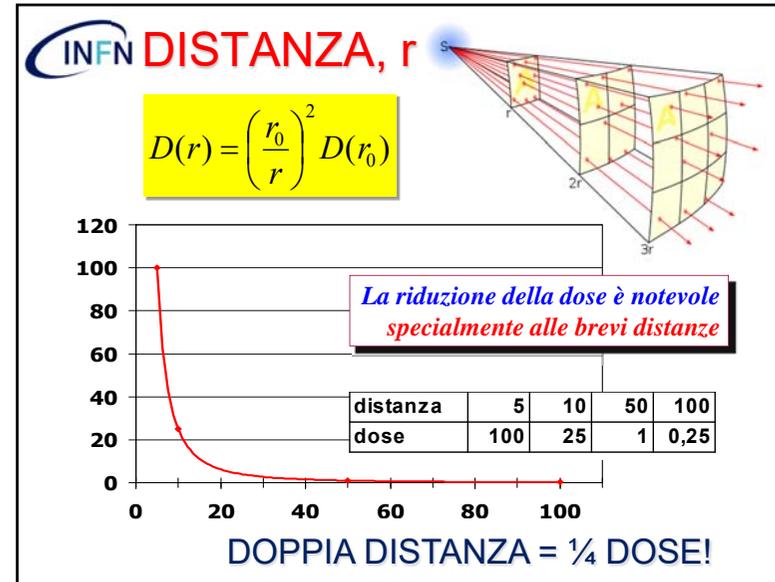
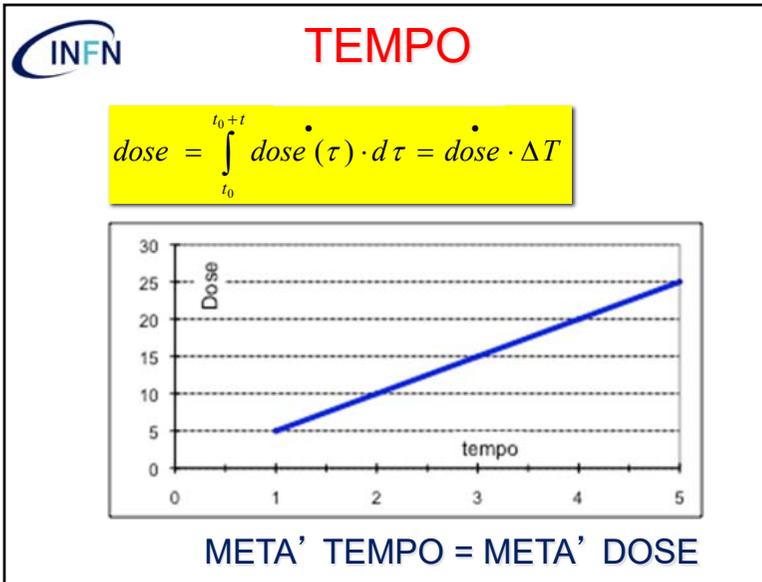
caratterizzare sorgente



INFN PROTEZIONE DA ESPOSIZIONE ESTERNA

- Tempo ridurre al minimo
- Distanza più lontano possibile
- Schermi usare schermi (progetto RPE)





INFN protezione da radiazioni alfa

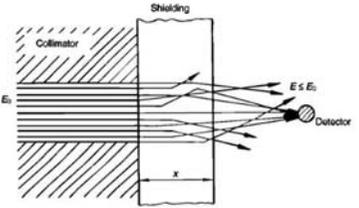
- solo più energetiche producono *shallow* dose (oltre 7 mg/cm²)
- pericolose se all'interno del corpo (inalazione o ingestione), $w_T=20$
- serio problema di rivelazione
- se area contaminata: a volte si fissa la contaminazione α -emittente

INFN pericolosità radiazioni beta

- ☑ Beta E >70 keV superano lo strato morto pelle
- ☑ Irradiazione esterna:
 - ☑ Facilmente schermate: basta spessore di Al o un paio di cm di plexiglass (dip. energia)
 - ☑ in laboratorio di solito sono assorbiti dalle pareti dei contenitori delle soluzioni radioattive
 - ☑ Radiazione di frenamento: schermature a basso Z verso la sorgente e successivamente alto Z
- ☑ Contaminazione interna: non pericolose come α : maggior penetrazione ma ionizzazione specifica minore; energia ceduta su massa maggiore, minor danno biologico

INFN ASSORBIMENTO FOTONI

CATTIVA (broad) GEOMETRIA

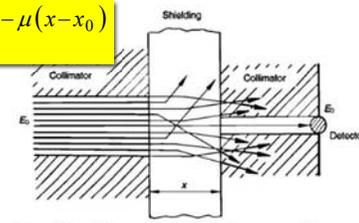


Transmission of photons through shielding for source collimation.

$$-\Delta n = \mu \cdot n \cdot \Delta x$$

$n(x) = B(x, \mu)n(x_0)e^{-\mu(x-x_0)}$

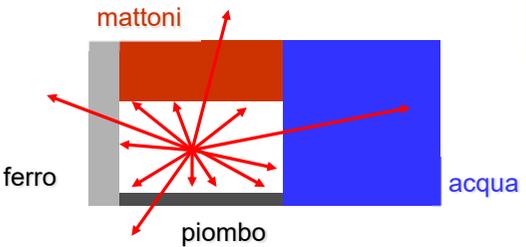
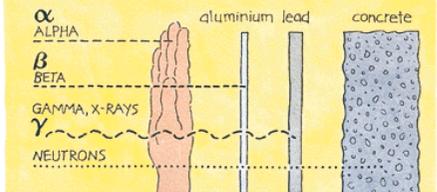
BUONA (narrow) GEOMETRIA



Transmission of photons through shielding for source and detector collimation.

INFN SCHERMI

RPE valuta schermi e definisce uso

mattoni
ferro
piombo
acqua

α ALPHA
 β BETA
GAMMA, X-RAYS
NEUTRONS

aluminium lead concrete

INFN ESPOSIZIONE INTERNA
sorgenti radioattive non sigillate

- inalazione: uso cappa (schermo abbassato) o mascherine e... procedure
- pelle: usa guanti protettivi e indossa camice per non disperdere la contaminazione
- ingestione: non portare oggetti alla bocca, non fumare, ecc.
- non disperdere la contaminazione



INFN ESPOSIZIONE INTERNA

dopo la manipolazione
 lava le mani
 anche se protette dai guanti, sempre!

lascia in ordine
 e decontaminato

controlla la contaminazione
 superficiale e personale, sempre!

ATTIVAZIONE MATERIALI:
 Controlla materiali in uscita dalle zone!!!



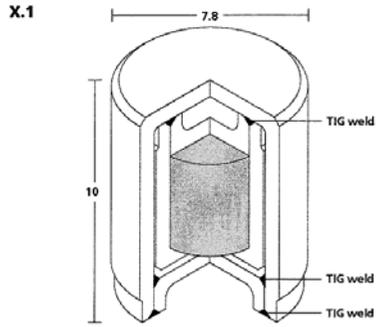

INFN ESPOSIZIONE INTERNA

nei laboratori:
 - non applicare cosmetici
 - non lenti a contatto
 - non fumare
 - non assumere cibi e bevande e...

STAFF PICNIC




INFN WHAT DOES SEALED MEAN?
 ISO 2919-1980 – ANSI 43.6 1997



- wipe test
- bubble test
- immersion test
- ISO code
- recommended life: 15 y (for He produced inside, Am/Be)

catalogo QSA Global High Tech Sources Lim.

Safety performance testing

ANSI/ISO classification	IAEA special form	Model no.
C66545	GB/007/S-85	CVN.CY2

C66545

INFN WHAT DOES SEALED MEAN?

Five tests:

- Temperature: 20' at -40° C up to 800° C (for 1 hour) and thermal shock to 20° C
- External Pressure: from 25kPa to 170MPa
- Impact: source is struck by a steel hammer of required weight (from 1 m).
- Vibration: 25 to 80Hz at 1.5mm amplitude peak to peak and 80 to 2000Hz at 196 m/s² 20 gn (3 times)
- Puncture: source is struck by a hardened pin fixed to a hammer of required weight (from 1 m).

(EU directive 2013/59
dLgs 101/2020)

INFN SORGENTI CALIBRAZIONE

- minore attività
- minimo angolo solido possibile
- manipolare con cura (es. pizette)
- distanza di sicurezza
- dosimetro ove prescritto
- non manomettere e mai sul fascio
- segnala sorgente e, se del caso, ingresso al laboratorio
- registra movimenti
- riponi nel deposito (es. cassaforte)



CERN safe storage

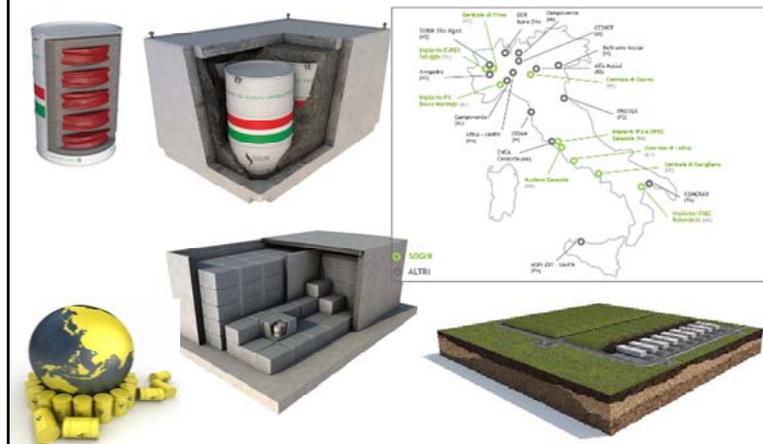
INFN RIFIUTI RADIOATTIVI

- ...non nel lavandino!
- separati in funzione di:
 - radioattivi/non radioattivi
 - solidi /liquidi
- rischio biologico?
- etichettati e chiusi
- schermati ove possibile
- nel deposito frequentemente
- RPE valuta impatto ambientale e autorizza allontanamento



riducili al minimo!

INFN RIFIUTI RADIOATTIVI urges deposito nazionale!!!



INFN TRASPORTO RADIOATTIVI

Solo mezzo autorizzato e colli SPECIFICI



Bellini G, IUSS, Pavia 2004

INFN AREE A RISCHIO

- zona libera, $E < 1 \text{ mSv/anno}$ in ordine crescente di rischio:
- zona sorvegliata, $1 < E < 6 \text{ mSv/anno}$
- zona controllata, $6 < E < 20 \text{ mSv/anno}$

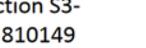
- zona controllata interdetta
 - vietato accesso durante funzionamento o irraggiamento
 - permanenza limitata
 - accesso proibito, interdetta

In funzione del tipo di rischio

- irradiazione
- contaminazione



INFN CERN RADIATION AREAS

Area	Dose limit [year]	Ambient dose equivalent rate		Sign
		permanent	low occupancy	
Non-designated	1 mSv	0.5 $\mu\text{Sv/h}$	2.5 $\mu\text{Sv/h}$	
Supervised	6 mSv	3 $\mu\text{Sv/h}$	15 $\mu\text{Sv/h}$	
Simple	20 mSv	10 $\mu\text{Sv/h}$	50 $\mu\text{Sv/h}$	
Limited Stay	20 mSv		2 mSv/h	
High Radiation	20 mSv		100 mSv/h	
Prohibited	20 mSv		> 100 mSv/h	

Courtesy N. Conan, M. Widorski

Safety Instruction S3-GS11, EDMS 810149

THEIS C, RPE course, CERN, 2012

INFN SEGNALETICA

Radiazioni ionizzanti




contaminazione





INFN **Dispositivi Protezione Individuale**
DPI (Personal Protective Equipment, PPE)



DPI in radioprotezione si indossano e proteggono:

- testa
- occhi e/o il viso
- udito
- vie respiratorie
- arti superiori
- corpo

stabiliti e controllati da RPE

marchio CE, equivalenza in Pb e priorità alla protezione collettiva

non solo schermati

INFN **DPI: attori e destinatari**

- *esperto radioprotezione*
 - indica i DPI
 - comunica a DdL con relazione scritta
 - verifica periodicamente
- *datore di lavoro /Dirigente /Resp. Attività*
 - li rende disponibili
 - regola uso
 - sorveglia che siano utilizzati



d.Lgs 101/2020 e 81/08, e s.m.i.

INFN **DPI schermati in radiodiagnostica**




Equivalenza Piombo	Riduzione a 80 KV	
	Irraggiamento effettivo	Irraggiamento diffuso
Nessuno	0%	0%
0.13 mm Pb	70%	85%
0.25 mm Pb	89%	96%
0.35 mm Pb	94%	98%
0.50 mm Pb	97%	99%

RPE indica i DPI radioprotezione e li controlla periodicamente



INFN **Compiti DdL, Dirigente,
Responsabile Attiv. e Preposto**

- prima inizio attività, chiede a RPE valutazione del rischio radiogeno fornendo informazioni
- delimita e segnala zone a rischio e regola l'accesso, come indicato da RPE
- chiede a RPE di classificare lavoratori
- emana norme interne e si assicura che siano consultabili e osservate
- nomina addetti emergenza e PS
- dirigenti + preposti: formazione ogni 3 anni
- segue...

(artt. 109 e 112 d.Lgs 101/2020)

INFN **Compiti DdL, Dirigente,
Responsabile Attiv. e Preposto**

segue...

- definisce i vincoli di dose per ogni impianto, sentito RPE
- fornisce dosimetri, mezzi protezione e DPI
- rende edotti lavoratori su: rischi, norme, prescrizioni medico, modalità di esecuzione del lavoro in sicurezza, norme impianto ospitante
- segnalazioni sul tipo di zona ed i rischi e, mediante contrassegni, sulle sorgenti
- fornisce al lavoratore valutazioni di dose
- comunica cessazione del lavoro degli esposti
- obblighi per i «lavoratori esterni»: INFN coinvolto!
- altri compiti...

(artt. 109 e 112 d.Lgs 101/2020)

INFN **... STUDENTE**

- equiparato ai lavoratori: stesse misure di tutela
- non accede zone a rischio senza autorizzazione del Responsabile Attività, a cui fa riferimento per la protezione e da cui è informato e formato sui rischi e sulle procedure di protezione e sicurezza



INFN **IL LAVORATORE**

Norme di radioprotezione
1/2

- non si espone al rischio prima di essere:
 - classificato da RPE
 - formato ed informato (ogni 3 anni)
 - idoneo alla mansione se “lavoratore esposto”
- ove si reca: chiede preventivamente informazioni su misure tutela, le osserva e verifica preliminarmente condizioni di sicurezza
- non frequenta zone a rischio (sorvegliate e controllate) presso impianti che non siano indicati nella scheda di radioprotezione
- informa il Responsabile Attività e/o DdL di anomalie e non interviene se non in sicurezza



INFN COMPITI DEL LAVORATORE
 Norme di radioprotezione
 2/2

- utilizza (e conserva) i dosimetri individuali e DPI
- informa il Responsabile Attività e il DdL su: impianti e zone frequentate, segnalazioni dei servizi di radioprotezione, superamenti di dose
- segnala tempestivamente al Responsabile ogni nuovo rischio
- Lavoratrici informano immediatamente Responsabile o DdL della gravidanza e, nel contempo, non frequentano le zone classificate e si astengono da attività a rischio esposizione e, fino a che allattano, anche di contaminazione



INFN
ATTORI DELLA SICUREZZA

- Datore di lavoro: Nicrosini O, direttore
- Responsabile Attività (dirigente): vari
- Preposto: vari - dipende da circostanze
- RPE: Giroletti E, INFN Pv
- MA: Taino G, Fondaz. Maugeri, Pv
- RSPP: Bestiani G, INFN Pv
- RLS: Calabrò D, INFN Pv
- Lavoratori, ... cioè TU (!)



INFN **NORMATIVA RADIOPROTEZIONE**

- ❖ direttiva UE 2013/59
- ❖ legge 1860/60
- ❖ **d.Lgs 101/2020**
 - ❖ protezione lavoratori, popolazione, pazienti e ambiente
 - ❖ notifiche e autorizzazioni
 - ❖ emergenze nucleari e non solo
 - ❖ compiti soggetti coinvolti: DdL, dirigenti, preposti, lavoratori, esperto radioprotezione, specialista in fisica medica, medico autorizzato e altri
- ❖ d.Lgs 151/2001 e smi
 - ❖ tutela della maternità e minori
- ❖ norme e d.Lgs vari su:
 - ❖ acque potabili, cibi, irraggiamento derrate, trasporto, materiali da costruzione, ecc. ecc. ecc
- ❖ **norme di sicurezza INFN e dei laboratori frequentati!**



INFN
 SEZIONE DI PAVIA

**NORME INTERNE
 PROTEZIONE E SICUREZZA
 DALLE
 RADIAZIONI IONIZZANTI**

(art. 109 del d.Lgs 101/2020)

STATO DEL DOCUMENTO

Settore: salute e sicurezza sul lavoro – radiazioni ionizzanti
 Parole chiave: radiazioni ionizzanti, sicurezza sul lavoro, coordinamento sicurezza
 Riferimento: INFN Sezione di Pavia

versione	data	motivo	autore	revisione
02	14.V.2001	Incarico esperto qualificato	E. Giroletti	C. Conia, G. Taino
03	29.IV.2008	Revisione	E. Giroletti	A. Rotondi, G. Taino
04	19.XII.2014	Variaz. rapporti Univ.-Pv	E. Giroletti	V. Vecchio, G. Taino
05	20.XII.2020	recupero d.lgs 101/20	E. Giroletti	O. Nicrosini, G. Taino

INFN

INFN - Struttura _____ PROT. N. _____

ATTIVITÀ OCCASIONALI CON RISCHIO DI ESPOSIZIONE A RADIAZIONI IONIZZANTI AGGIUNTIVE OLTRE A QUANTO INDICATO NELLA SCHEDA DI RADIODI PROTEZIONE

PROT. N.

Primo altre Strutture dell'INFN o presso altre Sedi (Soprintenti di radiazioni denunciate terzi)

SEDE	Indirizzo e periodo o il N. giorno	Attività in zona controllata e/o sorvegliata	Altre attività con rischio di esposizione a radiazioni ionizzanti
.....
.....

(Data) (Firma del Responsabile delle Attività) (Data) (Firma del Direttore della Struttura)

Per i lavoratori esperti che svolgono attività presso zone controllate indicare il vincolo di dose definito di coerenza con gli standard.

SEDE	vincolo di dose annuale	NOTE
.....

(Data) (Firma del Direttore della Struttura) (Data) (Firma dell'Esperto di Radioprotezione della Struttura)

A cura dell'Esperto di Radioprotezione della Struttura:

Si conferma la classificazione del lavoratore fornita sulla scheda sopra riportata

La classificazione di radioprotezione viene rivista su:

..... (Data) (Firma dell'Esperto di Radioprotezione della Struttura)

A cura del Medico Autorizzato della Struttura su il lavoratore è classificato esperto:

Si conferma il giudizio di idoneità del lavoratore

Si nota nuovo giudizio di idoneità

La conferma dell'idoneità del lavoratore può essere rinnovata anche con altre modalità, secondo gli accordi integrativi con il Medico Autorizzato

..... (Data) (Firma del Medico Autorizzato della Struttura)

**SCHEDA
RISCHIO
INFN, AGGIUNTIVA**

INFN

MODULO PER IL LAVORATORE ESTERNO O ALTRO LAVORATORE
da compilare a cura del Datore di lavoro del lavoratore e del lavoratore autonomo

Cognome e Nome: _____

Datore di lavoro _____

Lavoratore autonomo _____

Attività presso la Struttura INFN:

Prestazione in zona sorvegliata o controllata: _____

Altre prestazioni con esposizione a radiazioni ionizzanti: _____

Classificazione di radioprotezione: _____

Il lavoratore esposto, classificato in categoria A, presenterà all'esercente, il libretto personale di radioprotezione di cui all'art. 112, comma 1, lettera j) del D.Lgs 101/20, prima di ogni prestazione.

Vincolo di dose da adottarsi in relazione alle attività da svolgere (solo per i lavoratori esterni che svolgono attività in zone sorvegliate e/o controllate): _____

Si DICHIARA che il lavoratore ha ricevuto l'informazione e la formazione di cui all'art. 111, ed eventualmente all'art. 110 (Dirigenti e Preposti), del D.Lgs 101/20;

ALLEGA copia del giudizio di idoneità del medico autorizzato al tipo di rischio connesso con la prestazione stessa (solo per i lavoratori classificati esposti).

Il lavoratore classificato esposto, relativamente all'ambito di applicazione del D. Lgs 101/20, sarà dotato dei mezzi di sorveglianza dosimetrica individuale e dei dispositivi di protezione individuale (se necessari) adeguati al tipo di prestazione dall'esercente, e fruira della sorveglianza ambientale eventualmente necessaria sempre a carico dell'esercente.

DATA E FIRMA DEL DATORE DI LAVORO O DEL LAVORATORE AUTONOMO _____

Riquadro riservato all'Esperto Qualificato dell'esercente le zone classificate:

Si conferma che la classificazione di radioprotezione del lavoratore esterno è appropriata in relazione alle dosi che il lavoratore può ricevere

..... (Data) (Firma dell'Esperto di Radioprotezione)

**MODULO
LAVORATORE
ESTERNO
O AUTONOMO**

INFN

OSHA
Occupational Health & Safety
and Environmental Protection Unit
EDMS 242888 v2

CERTIFICATE
for associated members of the CERN personnel
occupationally exposed to ionising radiation at CERN

CERN ID (if available) _____

Name, First name(s) (as in passport) _____

Date of birth (day/month/year) _____

Name and address of home institution _____

Name and email address of the person responsible in matters of radiation protection at the home institution _____

I, the undersigned, authorized representative in matters of radiation protection of the home institution identified above, hereby certify that the above mentioned associated member of the CERN personnel is employed by us and fulfills our requirements to be occupationally exposed to ionising radiation. I further certify that the home institution complies with all obligations it may have towards him/her in this respect, it being understood that the effective dose he/she may receive at CERN is less than 5 mSv in 12 consecutive months.

If applicable, please indicate a different effective dose constraint and the corresponding period: _____

I have taken note that CERN is responsible for the operational aspects of radiation protection on its site and that it will provide the specific radiation protection training concerning its installations and procedures applicable at CERN. CERN will perform personal dosimetry for its own purposes.

Expiry date of this certificate¹: _____

Date: _____ Signature: _____

Institute stamp: _____ Name of signatory (in block capital): _____

Function of signatory: _____

¹ On request, CERN can provide dosimetry reports.

² This copy of this certificate will result in the withdrawal of the access authorizations of the associated member of the personnel to CERN radiation areas.

CERN, Dosimetry Service, CH-1211 Geneva 23, Switzerland, Phone: +41 2277 79 7133, dosimetry.service@cern.ch

**MODULO
CERN**

INFN

ADEMPIMENTI...

- Scheda radioprotezione: tutte attività e zone a rischio
- Classificazione RPE (vincoli dose)
- Comunicare:
 - dosi pregresse
 - dosi assorbite presso terzi
 - gravidanza e/o allattamento
 - cessata attività a rischio
- Idoneità medica per lavoratori esposti
- Formazione e informazione per lavoratori, dirigenti e preposti (triennale)
- Dosimetria personale + DPI
- Osservanza di norme e procedure
- Sorveglianza sui collaboratori



INFN **IS THE INFN RESEARCH A RISKY JOB?**

Risk = αW

Risk = probability to die 'cause of our job
 W = workload (how much the job is performed) alpha coeff
 (α)= death probability /W/person

- driver = 1 death / (1.6E8*km*person)
- pilot (commercial) = 1 death / (1E9*km*person)
- radiation worker = 4 death / (1E8*uSv*worker)

Lewis H.W., Il rischio tecnologico, Sperling & Kupfer, 1995

INFN **IS IT A RISKY JOB?**
 safe profession Risk=1E-4

R = αW

	W	risk, R
Vehicular traffic, km/year	10,000	6.3 · 10 ⁻⁵
	25,000	1.6 · 10 ⁻⁴
	50,000	3.1 · 10 ⁻⁴
	100,000	6.3 · 10 ⁻⁴
Fly, km/year	10,000	6.3 · 10 ⁻⁶
	50,000	3.1 · 10 ⁻⁵
	100,000	6.3 · 10 ⁻⁵
	250,000	1.6 · 10 ⁻⁴
Radiation worker, mSv/year	0.1	4.0 · 10 ⁻⁶
	0.5	2.0 · 10 ⁻⁵
	1.0	4.0 · 10 ⁻⁵
	6.0	2.4 · 10 ⁻⁴

INFN **quale priorità?**

sorgente	decessi attesi/anno
radon	1500 – 6000 (+)
pratiche mediche: ridurre 0,26 mSv/anno	si evitano 800 (*)
radiofrequenze	3

(+) fonte: Min.Salute 2002; (*) ipotizzando una riduzione della dose media annua pari a 0,26 mSv implementando la qualità radiologica (20% delle dosi impartite in radiodiagnostica -UNSCEAR 2000-)

INFN

protezione e sicurezza dalle radiazioni ionizzanti

Pavia, 27 novembre 2020



Thanks
 ...FOR YOUR INTEREST!

elio.giroletti@pv.infn.it